



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 197 36 674 C 1

51 Int. Cl.⁶:
H 01 H 59/00
H 01 B 1/24

21 Aktenzeichen: 197 36 674.0-34
22 Anmeldetag: 22. 8. 97
43 Offenlegungstag: -
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 26. 11. 98

DE 197 36 674 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

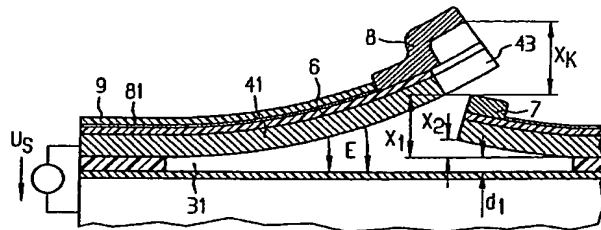
72 Erfinder:
Schlaak, Helmut, Dr. Dr.-Ing., 13503 Berlin, DE;
Kiesewetter, Lothar, Dr. Dr.-Ing., 12357 Berlin, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 44 37 261 C1
DE 44 37 260 C1
DE 44 37 259 C1
DE 42 05 029 C1
US 45 70 139

54 Mikromechanisches elektrostatisches Relais und Verfahren zu dessen Herstellung

57 Das mikromechanische Relais besitzt ein Basissubstrat (81), auf welchem eine einseitig angebundene Anker-Federzunge (41) mit einem beweglichen Kontakt (8) derart strukturiert ist, daß sie im Ruhezustand federnd vom Substrat weg gekrümmt ist. Ein mit dem beweglichen Kontakt zusammenwirkender Festkontakt (7) ist auf einer federnden, ebenfalls von dem Basissubstrat weg gekrümmten Festkontakt-Federzunge (42) angeordnet, derart, daß die beiden Federzungen einander mit ihren freien Enden gegenüberstehen und der bewegliche Kontakt (8) den Festkontakt überlappt. Durch die Anordnung der Kontakte auf zwei federnden Zungen erhält man trotz eines geringen, bei einem elektrostatischen Antrieb möglichen Ankerweg über den gestreckten Zustand hinaus einen verhältnismäßig großen Überhub an den Kontakten, wodurch eine ausreichende Kontaktkraft erzeugt wird.



DE 197 36 674 C 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein mikromechanisches elektrostatisches Relais mit

- einem Basissubstrat mit einer Basiselektrode und mit mindestens einem Festkontakt,

einer Anker-Federzunge, die einseitig an einer mit dem Basissubstrat verbundenen Trägerschicht angebunden ist, eine der Basiselektrode gegenüberliegende Ankerelektrode besitzt, im Ruhezustand unter Bildung eines keilförmigen Luftspaltes elastisch von dem Basissubstrat weggekrümmt ist und an ihrem freien Ende mindestens einen, dem Festkontakt gegenüberliegenden beweglichen Kontakt trägt. Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen Relais.

Ein derartiges mikromechanisches Relais und ein entsprechendes Herstellungsverfahren sind bereits grundsätzlich aus der DE 42 05 029 C1 bekannt. Wesentlich ist dabei, daß die aus einem Substrat freigelegte Anker-Federzunge eine Krümmung derart besitzt, daß die Ankerelektrode mit der gegenüberliegenden Basiselektrode einen keilförmigen Luftspalt bildet, der beim Anlegen einer Spannung zwischen die beiden Elektroden eine schnelle Anzugsbewegung nach dem sog. Wanderkeil-Prinzip bewirkt. Verfeinerungen dieses Prinzips sind beispielsweise in der DE 44 37 259 C1 und DE 44 37 261 C1 gezeigt.

Bei all diesen bekannten Relais mit mikromechanischem Aufbau ist ein relativ hoher fertigungstechnischer Aufwand insofern erforderlich, als zwei Substrate, nämlich einerseits ein Basissubstrat mit der Basiselektrode und dem Festkontakt und andererseits ein Ankersubstrat mit der Anker-Federzunge, der Ankerelektrode und dem beweglichen Kontakt getrennt bearbeitet und miteinander verbunden werden müssen. Neben den erwähnten Hauptfunktionselementen der beiden Substrate sind weitere Beschichtungs- und Ätzvorgänge erforderlich, beispielsweise für Isolierschichten, Zuleitungen und dergleichen. Beide Substrate müssen also jeweils für sich all den erforderlichen aufwendigen Prozessen unterworfen werden, bevor sie mit ihren Hauptfunktionsschichten einander zugewandt verbunden werden können. Da die Schaltelemente auch vor Umwelteinflüssen geschützt werden sollen, ist in der Regel ein zusätzliches Deckteil als Abschlußelement erforderlich, ohne daß hierauf näher eingegangen werden muß.

Wünschenswert wäre es zur Vereinfachung der Herstellung, wenn alle Funktionselemente des Relais auf einem Substrat von einer Seite her gebildet werden könnten. Dabei ist es grundsätzlich denkbar, eine Federzunge mit einem beweglichen Kontakt und ein Festkontaktelement auf ein und demselben Substrat auszubilden, wobei etwa der Festkontakt und der bewegliche Kontakt übereinanderliegend hergestellt werden können und wobei durch Wegätzen einer sog. Opferschicht der Kontaktabstand gebildet werden kann. Grundsätzlich ist eine solche Anordnung aus der US-4 570 139 bekannt. Bei dem dortigen mikromechanischen Schalter ist allerdings unterhalb der Anker-Federzunge ein nicht genau definierter Hohlraum geschaffen, der für die Bildung eines elektrostatischen Antriebs nicht geeignet ist. Bei dem dortigen Schalter ist deshalb vorgesehen, sowohl die Anker-Federzunge als auch den Festkontakt mit jeweils einer magnetischen Schicht zu versehen und den Schalter über ein von außen angelegtes Magnetfeld zu betätigen. Mit einem solchen Magnetfeld kann auch bei dem relativ geringen Kontaktabstand, der mit der Opferschichttechnik zwischen dem beweglichen Kontakt und dem starren Festkontakt erreicht werden kann, die nötige Kontaktkraft erzeugt

werden. Allerdings ist dazu eine zusätzliche Einrichtung zur Erzeugung des Magnetfeldes, beispielsweise eine Spule, erforderlich, die erheblich mehr Platz benötigt, als man für bestimmte Anwendungsfälle für ein mikromechanisches Relais zur Verfügung hat.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, ein mikromechanisches Relais der eingangs genannten Art konstruktiv so weiterzubilden, daß auch mit dem elektrostatischen Antrieb größere Kontaktkräfte erzeugt werden können, wobei aber die Funktionselemente des Relais auf dem Basissubstrat durch Bearbeitung von einer Seite geschaffen werden können.

Erfindungsgemäß wird dieses Ziel dadurch erreicht, daß der mindestens eine Festkontakt auf einer Festkontakt-Federzunge angeordnet ist, die der Anker-Federzunge gegenüberstehend wie diese einseitig an einer Trägerschicht angebunden und im Ruhezustand elastisch von dem Basissubstrat weggekrümmt ist, und daß der mindestens eine bewegliche Kontakt an dem freien Ende der Anker-Federzunge über dieses vorkragend und den Festkontakt überlappend ausgebildet ist.

Bei der Erfindung wird also im Unterschied zu den bisherigen Vorschlägen für mikromechanische Relais und Schalter auch der Festkontakt nicht mehr starr auf dem Basissubstrat angeordnet, sondern er sitzt wie der bewegliche Kontakt auf einer gekrümmten Federzunge, wodurch sich ein zusätzlicher Schaltweg erzielen läßt. Der bewegliche Kontakt sitzt auf der Anker-Federzunge und überlappt den Festkontakt. Durch die Vorkrümmung der beiden einander gegenüberstehenden Federzungen läßt sich so beim Schalten vom Beginn der Kontaktgabe bis zur Endposition des Ankers ein ausreichender Überhub zur Erzeugung der gewünschten Kontaktkraft erzielen. Dieser Effekt wird erzielt, auch wenn bei der Ausbildung der Anker-Federzunge auf einem Basissubstrat über die Opferschichttechnik unterhalb des Ankers nur ein relativ geringer Freiraum geschaffen werden kann, durch den der Anker über seine gestreckte Position hinaus beim Anzug an die Gegenelektrode nur einen geringen eigenen Überhub erfährt.

Besonders günstig ist die Herstellung dann, wenn sowohl die Anker-Federzunge als auch die Festkontakt-Federzunge aus der gleichen Trägerschicht gebildet sind und somit in ein und demselben Ätzvorgang hergestellt werden können. Die mit ihren freien Enden einander gegenüberstehenden Federzungen können in vorteilhafter Weise zahnartig ineinandergreifen, so daß der vorspringende bewegliche Kontakt nicht nur an seinem hinteren Ende, sondern zumindest auch noch an einer Seite mit der Oberfläche der Anker-Federzunge verbunden werden kann. Die spezielle Gestaltung hängt davon ab, ob ein Schließer-Kontakt oder ein Brückenkontakt geschaffen werden soll.

Als Basissubstrat kommt vorzugsweise Silizium in Betracht, wobei die Trägerschicht für die Federzungen als Siliziumschicht unter Zwischenfügung der jeweils erforderlichen Funktions- und Isolierschichten abgeschieden oder aufgebondet und in den entsprechenden Arbeitsgängen freigeätzt ist. Das Basissubstrat kann aber auch aus Glas oder aus Keramik bestehen; diese Materialien sind wesentlich kostengünstiger als Silizium. Kermaik erfordert aber eine zusätzliche Oberflächenbehandlung, um die für die Relaisstrukturen erforderliche glatte Oberfläche zu erhalten. Die die Federzungen bildende Trägerschicht kann beispielsweise aus abgeschiedenem Polysilizium oder Polysilizium mit Rekristallisation bestehen oder als freigelegte dotierte Silizium-Schicht eines aufgebondeten Silizium-Wafers vorliegen. Diese Schicht kann durch Epitaxie oder Diffusion in einem Silizium-Wafer hergestellt werden. Neben dieser Siliziumstruktur kann aber auch eine abgeschiedene Schicht ei-

nes Federmetalls, wie Nickel, einer Nickel-Eisenlegierung oder von Nickel mit sonstigen Zusätzen verwendet werden. Auch andere Metalle können in Betracht kommen; wichtig ist, daß das Material gute Federeigenschaften und eine geringe Ermüdung zeigt.

Ein vorteilhaftes Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Relais weist die folgenden Schritte auf:

- auf einem mit einer metallischen Schicht als Basis-
elektrode versehenen Basissubstrat wird unter Zwischen-
fügung einer Isolierschicht und eines Zwischen-
raums eine Trägerschicht aus Metall aufgebracht,
- in der Trägerschicht werden zwei einseitig angebun-
dene, einander mit ihren freien Enden gegenüberste-
hende Federzungen ausgebildet,
- die Federzungen werden an ihrer Oberseite zumin-
dest abschnittsweise mit einer Zugspannungsschicht
versehen,
- eine - vorzugsweise kürzere - Federzunge wird an
ihrem freien Ende mit mindestens einem Festkontakt
versehen,
- die - vorzugsweise längere - Federzunge wird mit
mindestens einem beweglichen Kontakt versehen, der
unter Zwischenfügung einer Opferschicht den Festkon-
takt überlappt, und
- durch Freitätzung der Federzungen voneinander und
von dem Substrat wird deren Krümmung vom Substrat
weg nach oben erreicht.

Weitere Ausgestaltungen des Herstellungsverfahrens sind in den Ansprüchen 14 bis 16 genannt.

Die Erfindung wird nachfolgend an Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 den Aufbau der wesentlichen Funktionsschichten eines erfindungsgemäßen mikromechanischen Relais in einer Schnittdarstellung,

Fig. 2 das mikromechanische Relais von Fig. 1 im Endzustand (ohne Gehäuse) in Ruheposition,

Fig. 3 das Relais von Fig. 2 in Arbeitsposition,

Fig. 4 eine Draufsicht auf das Relais von Fig. 3, welches einen Arbeitskontakt bildet,

Fig. 5 die gleiche Ansicht wie Fig. 4, jedoch mit einer Ausführungsform, welche einen Brückenkontakt bildet,

Fig. 6 eine abgewandelte Ausführungsform einer Brückenkontakt-Anordnung,

Fig. 7 eine Darstellung entsprechend Fig. 1, jedoch mit einer Zugspannungsschicht über einem Teilabschnitt der Anker-Federzunge,

Fig. 8 eine Ansicht entsprechend Fig. 2 mit Federzungenabschnitten unterschiedlicher Krümmung,

Fig. 9 einen gegenüber Fig. 1 etwas abgewandelten Schichtaufbau eines Basissubstrats bis zum Aufbau einer Trägerschicht aus Polysilizium für die Federzungen,

Fig. 10 einen gegenüber Fig. 9 abgewandelten Schichtaufbau mit einer Trägerschicht aus Metall für die Federzungen,

Fig. 11 einen gegenüber Fig. 9 und 10 abgewandelten Schichtaufbau mit einer auf das Basissubstrat aufgebondenen Lost-Wafer-Schicht zur Bildung der Trägerschicht für die Federzungen und

Fig. 12 einen abgewandelten Schichtaufbau unter Verwendung eines SOI-Wafer-Halbzeugs.

Zunächst sei darauf hingewiesen, daß alle Schichtdarstellungen lediglich schematisch die Schichtfolge und nicht die Dickenverhältnisse der Schichten zeigen.

In den Fig. 1 bis 3 ist der Funktionsschichtaufbau eines erfindungsgemäßen mikromechanischen Relais auf Siliziumbasis gezeigt. Das Basissubstrat 1 besteht in diesem Fall

aus Silizium. Dieses Basissubstrat dient zugleich als Basis-
elektrode; nach Bedarf kann aber auch eine entsprechende
Elektrodenschicht durch geeignete Dotierung ausgebildet
werden. Über dem Basissubstrat ist eine Isolierschicht 2,
beispielsweise aus Silizium-Nitrit ausgebildet. Auf dieser
wiederum liegt eine erste Opferschicht 3, die später heraus-
geätzt wird. Sie besteht beispielsweise aus Silizium-Dioxid
und besitzt eine Dicke d_1 von vorzugsweise weniger als
0,5 μm . Über der Opferschicht 3 liegt eine Trägerschicht 4
zur Bildung von Federzungen. Diese Schicht ist elektrisch
leitend und besteht beispielsweise aus Polysilizium mit einer
Dicke von 5 bis 10 μm . Aus dieser Trägerschicht 4 werden
später eine Anker-Federzunge 41 und eine Festkontakt-
Federzunge 42 freigeätzt.

Beim Schichtaufbau sind sie zunächst durch eine zweite
Opferschicht 5 voneinander getrennt. Auf den beiden Feder-
zungen 41 und 42 ist eine isolierende Zugspannungsschicht 6
angeordnet, die nach dem Freitätzen der Federzungen auf-
grund ihrer Zugspannung eine Krümmung der Federzungen
vom Basissubstrat weg nach oben bewirkt. Dieser Zustand
ist in Fig. 2 gezeigt.

Auf der Festkontakt-Federzunge 42 wird durch entspre-
chende Beschichtungsverfahren ein Festkontakt 7 abgelagert,
während auf dem freien Ende der Anker-Federzunge
41 ein beweglicher Kontakt 8 derart ausgebildet wird, daß er
unter Zwischenfügung der zweiten Opferschicht 5 den Fest-
kontakt 7 überlappt. Die Höhe der Schaltkontakte ist belie-
big wählbar, typischerweise beträgt sie zwischen 2 und
10 μm . Je nach Erfordernis können die Dicken bzw. die Ma-
terialzusammensetzungen der Schaltkontakte auch asymme-
trisch sein. Wie in Fig. 4 gezeigt ist, greifen die beiden Fe-
derzungen 41 und 42 zahnartig ineinander, so daß ein mitti-
ger Vorsprung 44 der Federzunge 42 von zwei seitlichen
Vorsprüngen 43 der Anker-Federzunge 41 zangenförmig
umfaßt wird. Auf diese Weise liegt der bewegliche Kontakt
8 mit drei Seitenabschnitten auf der Anker-Federzunge auf.
Er bildet in dieser Ausgestaltung einen einfachen Schließer-
kontakt mit dem Festkontakt 7. Im übrigen ist erkennbar,
daß der bewegliche Kontakt 8 einen S-förmigen oder Z-för-
migen Querschnitt aufweist, um die Überlappung mit dem
Festkontakt 7 sicherzustellen. Die zwischenliegende Opfer-
schicht 2 besitzt typischerweise eine Dicke d_2 von weniger
als 0,5 μm .

In bekannter Weise werden die übrigen erforderlichen
Schichten ausgebildet, beispielsweise eine Zuleitung 71
zum Festkontakt 7, eine Zuleitung 81 zum beweglichen
Kontakt 8 sowie eine weitere Isolierschicht 9 zur Passivie-
rung der Oberseite der Anker-Federzunge.

In Fig. 2 ist die fertige Anordnung nach der Freilegung
der Federzungen durch Herausätzen der beiden Opfer-
schichten 3 und 5 gezeigt, wobei unterhalb der Anker-Fe-
derzunge 41 ein Freiraum 31 entsteht. Wie erwähnt, krüm-
men sich die beiden Federzungen 41 und 42 aufgrund der
Zugspannungsschicht 6 nach oben, so daß die Anordnung
gemäß Fig. 2 mit geöffnetem Kontakt entsteht. Die Anker-
Federzunge krümmt sich aufgrund der Vorspannung zu einer
lichten Öffnung x_1 am Federende. In gleicher Weise
krümmt sich die Festkontakt-Federzunge 42 nach der Freile-
gung um die lichte Öffnung x_2 nach oben. Somit ergibt sich
der lichte Kontaktabstand

$$x_K = x_1 - x_2 + d_2 \text{ und näherungsweise}$$

$$x_K = X_1 - X_2.$$

Dieser lichte Kontaktabstand x_K ist durch die Geometrie
der Anker-Federzunge und der Festkontakt-Federzunge so-
wie die durch die Schicht 6 hervorgerufene Zugspannung in
der Feder frei einstellbar.

Den geschlossenen Schaltzustand des Relais zeigt Fig. 3.
Dabei liegt die Anker-Federzunge 41 direkt an der Gegen-

elektrode an, d. h., sie berührt die Isolationsschicht 2 der Gegenelektrode bzw. des Basissubstrats. Somit ist die Anker-Federzunge um die Dicke der ersten Opferschicht 3, nämlich d_1 , nach unten gebogen. Es ergibt sich dabei ein Überhub zu

$$x_u = x_2 - d_2 + d_1, \text{ also näherungsweise}$$

$$x_u = x_2.$$

Dieser Überhub ist von den Fertigungstoleranzen der Kontakthöhen unabhängig.

Wie erwähnt, zeigt Fig. 4 eine Draufsicht auf die Federzungen 41 und 42 gemäß den Fig. 1 bis 3. Dabei ist die Form und Anordnung der Kontakte zu sehen, nämlich des Festkontaktes 7 auf dem Vorsprung 44 der Federzunge 42 sowie des beweglichen Kontaktes 8 mit dreiseitiger Aufhängung auf den Vorsprüngen 43 der Federzunge 41. Außerdem ist andeutungsweise ein Lochraster 10 zum Freiätzen der ersten Opferschicht 3 gezeigt.

In Fig. 5 ist eine gegenüber Fig. 4 abgewandelte Ausführungsform mit einem Brückenkontakt gezeigt. In diesem Fall besitzt die Federzunge 42 zwei getrennte Festkontakte 7 mit entsprechenden Anschlußbahnen auf zwei äußeren Vorsprüngen 46, während die Federzunge 41 einen mittigen Vorsprung 47 bildet, auf dem der bewegliche Kontakt 8 liegt. Ein Schlitz 42a in der Festkontakt-Federzunge 42 sorgt für eine hohe Torsions-Nachgiebigkeit, damit bei ungleichem Abbrand beide Kontakte sicher schließen. Dieser dient bei diesem Beispiel als Brückenkontakt, indem er beiderseits die Festkontakte 7 überlappt.

Die gleiche Wirkung kann man auch mit einer Struktur gemäß Fig. 6 erzielen. Dort ist eine Anker-Federzunge 141 mit einem mittigen Vorsprung 147 versehen, auf dem ein beiderseits überstehender beweglicher Brücken-Kontakt 148 liegt. Dieser arbeitet mit zwei Festkontakten 144 und 145 zusammen, welche auf zwei getrennten Festkontakt-Federzungen 142 und 143 sitzen. Diese Festkontakt-Federzungen 142 und 143 stehen quer zur Anker-Federzunge 141, d. h., ihre Einspann-Linien 142a und 143a stehen senkrecht zur Einspann-Linie 141a der Anker-Federzunge.

Für die Optimierung der Schaltkennlinie ist es zweckmäßig, die Anker-Federzunge nur abschnittsweise zu krümmen, wie dies in den Dokumenten DE 44 37 260 C1 und DE 44 37 261 C1 ausführlich gezeigt ist. In den Fig. 7 und 8 ist schematisch eine Ausgestaltung während der Herstellung und im fertigen Zustand gezeigt, bei der die Anker-Federzunge nur teilweise gekrümmt ausgebildet ist. Im Vergleich zu den Fig. 1 und 2 besteht der wesentliche Unterschied darin, daß in den Fig. 7 und 8 eine Zugspannungsschicht 61 sich nur über einen Teil der Anker-Federzunge 41 erstreckt, so daß sich eine gekrümmte Zone 62 der Anker-Federzunge auf den Bereich der Einspannstelle begrenzt, während eine Zone 63 zum Federende hin gerade bzw. mit geringerer Krümmung verläuft. Bei der Darstellung in den Fig. 7 und 8 ist auf der Silizium-Trägerschicht 4 eine eigenspannungsfreie Isolationsschicht 64 dargestellt, welche die galvanische Trennung des Lastkreises mit der Zuleitung 81 von der Federzunge bildet. Darüber liegt die bereits erwähnte Zugspannungsschicht 61.

Zur Realisierung der beschriebenen und dargestellten Schichtanordnung sind verschiedene, an sich bekannte Verfahren anwendbar. So zeigt Fig. 9 den grundsätzlichen Schichtaufbau auf dem Basissubstrat 1, wie er nach der sog. Additiv-Technik erfolgt. Bei diesem Verfahren werden die beweglichen Federzungen bzw. deren Trägerschicht aus einem Material gewonnen, das während der Herstellung erst auf dem Substrat abgeschieden wird. Als Substrat dient in dem gezeigten Beispiel von Fig. 9 ein Wafer aus p-Silizium. Auf diesem wird zunächst eine Steuer-Basiselektrode 11 n-

schon dem n-Silizium der Elektrode und dem p-Silizium des Basissubstrats bildet sich eine Sperrschicht 12. Über der Elektrode wird die Isolationsschicht 2 und darüber die Opferschicht 3 aufgebracht und strukturiert. Darüber wird die Trägerschicht 4 mit einer Dicke von z. B. 5 bis 10 μm abgeschieden. Sie besteht aus Poly-Silizium oder aus Poly-Silizium mit Rekristallisation. Mit üblicher Maskentechnik wird die Struktur der Federzungen hergestellt. Der weitere Aufbau erfolgt gemäß Fig. 1. So werden die verschiedenen Funktionsschichten, nämlich eine Isolationsschicht zwischen Lastkreis und beweglicher Antriebslektrode, gegebenenfalls eine zusätzliche Zugspannungsschicht und die erforderlichen Lastkreisleiterbahnen abgeschieden. Außerdem werden die beschriebenen Kontakte mit der zwischenliegenden zweiten Opferschicht sowie eventuell erforderliche Passivierungsisolationen für die Leiterbahnen erzeugt.

Wie bereits eingangs erwähnt, können auch andere Materialien Verwendung finden. So ist in Fig. 10 schematisch eine Schichtanordnung gezeigt, wobei das Substrat aus Glas besteht. Es könnte aber auch aus Silizium-Substrat mit einer Isolationsschicht oder aus Keramik mit entsprechender Oberflächenbehandlung bestehen. Über diesem Substrat wird eine Basiselektrode 11 in Form einer Metallschicht erzeugt. Darauf liegt dann eine Isolierschicht 2 und über dieser die Opferschicht 3. Als Trägerschicht dient in diesem Beispiel eine galvanisch aufgebrachte Metallschicht, die aus Nickel oder einer Nickel-Legierung (z. B. Nickel-Eisen) oder auch einer anderen Metallegierung besteht. Wichtig ist die Federeigenschaft mit geringer Ermüdung dieses Metalls. Durch eine entsprechende Stromführung beim Galvanikprozeß können inhomogene Nickelschichten erzeugt werden, die eine spätere Krümmung der strukturierten Federzungen erzeugen. Der weitere Aufbau erfolgt analog zu Fig. 9 bzw. Fig. 1.

Eine weitere Möglichkeit für die Erzeugung der Funktionsschichten des Relais ist die sog. Lost-Wafer-Technik. Diese soll anhand von Fig. 11 kurz geschildert werden. In diesem Fall werden zwei Ursprungs-Substrate verwendet, die jedoch eine Schichtbearbeitung von einer Oberfläche aus erfahren. Auf ein Basissubstrat 1, das wiederum aus Silizium oder aus Glas besteht, wird zunächst eine Basiselektrode 11 aufgebracht, die in diesem Beispiel in einer Ätzhöhle versenkt ist. Darüber liegt die Isolationsschicht 2. Danach wird ein zweites Silizium-Wafer 20 mit einer n-dotierten Silizium-Schicht 21, die entweder durch Epitaxie aufgebracht oder durch Diffusion hergestellt wird, anodisch auf das bereits strukturierte Basissubstrat 1 gebondet. Von der Oberseite erfolgt danach ein Rückätzen des Wafers 20 mit elektrochemischem Ätzstop, so daß nur die Epitaxie-Schicht 21 stehen bleibt, die als Trägerschicht für die beweglichen Federzungen dient. Der Fügenschritt des Lost-Wafers auf dem Basissubstrat kann auch ohne die erste Opferschicht 3 (siehe Fig. 1) erfolgen, wenn sich ein Freiraum 31 bilden läßt, ohne daß die Isolationsschicht 2 an der dotierten Silizium-Schicht 21 festbondet.

Schließlich erfolgt auch bei diesem Beispiel die Strukturierung der Lastkreiselemente analog zur Additiv-Technik, wie anhand von Fig. 1 bzw. Fig. 6 bereits beschrieben. Es werden also zum Beispiel eine Isolationsschicht 64 zur Isolierung zwischen Lastkreis und der durch die Federzunge 41 gebildeten Antriebslektrode, soweit erforderlich, eine zusätzliche Zugspannungsschicht 61, die Lastkreisleiterbahnen 71 und 81, der feststehende Kontakt 7, die zweite Opferschicht 5 und der bewegliche Kontakt 8 nacheinander aufgebracht und strukturiert. Soweit zusätzliche Schichten zur Passivierungsisolation erforderlich sind, geschieht dies nach dem Erfahrungswissen des Fachmanns.

Eine weitere Möglichkeit zur Erzeugung der erfindungs-

gemäßen Struktur besteht im Einsatz eines sog. SOI-Wafers (silicon-on-insulator). In Fig. 12 ist ein solcher SOI-Wafer als Halbzeug dargestellt. Der Unterschied zum Aufbau gemäß Fig. 9 besteht darin, daß die einzelnen Schichten in diesem Fall nicht nachträglich auf dem Substrat abgelagert werden, sondern daß vielmehr ein solcher SOI-Wafer als Halbzeug einen vorgefertigten Schichtaufbau besitzt, wobei auf dem Siliziumsubstrat 1 eine Isolationsschicht 2, zum Beispiel aus Silizium-Nitrit, eine erste Opferschicht 3, zum Beispiel aus Silizium Dioxid, sowie eine kristalline Silizium-Epitaxie-Schicht als Trägerschicht 4 mit einer Dicke von zum Beispiel 5 bis 10 µm angeordnet sind. Auf diesem Halbzeug erfolgt dann die Strukturierung der Lastkreiselemente analog zur oben beschriebenen Additiv-Technik, wobei als Funktionsschichten die Isolationsschicht 64, die zusätzliche Zugspannungsschicht 61, die Lastkreisleiterbahnen 71 und 81, der feststehende Kontakt 7, die zweite Opferschicht 5 (gegebenenfalls auch als Passivierungs-Isolation für die Leiterbahnen) und der bewegliche Kontakt 8 strukturiert werden.

Die Funktion des Relais ergibt sich ohne weiteres aus dem beschriebenen Aufbau. Über entsprechende Anschlüsselemente wird zur Betätigung des Relais eine Steuerspannung U_s an die Elektroden angelegt, also gemäß Fig. 2 an das Basissubstrat 1, das zugleich als Basiselektrode dient, oder an die vom Basissubstrat elektrisch isolierte Basiselektrode gemäß den Ausführungsformen in den Fig. 9 bis 11 und an die Anker-Federzunge 41, die zugleich als Ankerlektrode dient. Durch die elektrostatische Aufladung wird die Anker-Federzunge 41 an die Basiselektrode angezogen, wodurch die Kontakte schließen.

Für den Fachmann ist es auch klar, daß die in der Zeichnung dargestellte Struktur in geeigneter Weise in ein Gehäuse eingebaut wird, so daß die Kontakte gegen Umwelteinflüsse geschützt sind. Auch sei noch erwähnt, daß mehrere dargestellte Schalteinheiten auf ein und demselben Substrat nebeneinander und in einem gemeinsamen Gehäuse zur Bildung eines Vielfach-Relais angeordnet werden können.

Patentansprüche

1. Mikromechanisches elektrostatisches Relais mit
 - einem Basissubstrat (1) mit einer Basiselektrode (1, 11) und mit mindestens einem Festkontakt (7),
 - einer Anker-Federzunge (41), die einseitig an einer mit dem Basissubstrat (1) verbundenen Trägerschicht (4) angebunden ist, eine der Basiselektrode (1, 11) gegenüberliegende Ankerelektrode (41) besitzt, im Ruhezustand unter Bildung eines keilförmigen Luftspaltes elastisch von dem Basissubstrat (1) weggekrümmt ist und an ihrem freien Ende mindestens einen, dem Festkontakt (7) gegenüberliegenden beweglichen Kontakt (8) trägt,
 - dadurch gekennzeichnet**, daß der mindestens eine Festkontakt (7) auf einer Festkontakt-Federzunge (42) angeordnet ist, die der Anker-Federzunge (41) gegenüberstehend wie diese einseitig an einer Trägerschicht (4) angebunden und im Ruhezustand elastisch von dem Basissubstrat (1) weggekrümmt ist, und
 - daß der mindestens eine bewegliche Kontakt (8) an dem freien Ende der Anker-Federzunge (41) über dieses vorkragend und den Festkontakt (7) überlappend ausgebildet ist.
2. Relais nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Anker-Federzunge (41) und die Festkontakt-Federzunge (42) aus der gleichen Trägerschicht (4) gebildet sind.

3. Relais nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der mindestens eine bewegliche Kontakt (8) einen annähernd Z-förmigen Querschnitt aufweist, wobei ein Endschenkel auf der Anker-Federzunge (41) liegt und ein dazu annähernd paralleler Endschenkel den Festkontakt (7) überlappt.

4. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die freien Enden der Anker-Federzunge (41) und der Festkontakt-Federzunge (42) zahnförmig ineinandergreifen, wobei jeweils ein Vorsprung (44; 47) der einen Federzunge (42; 41) in eine Ausnehmung der anderen Federzunge (41; 42) eingreift, und daß der mindestens eine Festkontakt (7) auf einem Vorsprung (44; 46) der Festkontakt-Federzunge (42) liegt, während der mindestens eine bewegliche Kontakt (8) sich über eine Ausnehmung der anderen Federzunge (41) erstreckt.

5. Relais nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Anker-Federzunge (41) in gestrecktem Zustand mit ihrem zangenförmig ausgebildeten Endabschnitt (43) einen mittigen, den Festkontakt (7) tragenden Vorsprung (44) der Festkontakt-Federzunge (42) umschließt und daß sich ein beidseitig aufliegender beweglicher Kontakt (8) frei über diesen Festkontakt (7) erstreckt.

6. Relais nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein mittiger Vorsprung (47) der Anker-Federzunge (41) in gestrecktem Zustand zwischen zwei mit Festkontakten (7) versehene Vorsprünge (46) der Festkontakt-Federzunge (42) eingreift und daß ein beweglicher Brückenkontakt (8) auf dem mittigen Vorsprung (47) befestigt ist und sich beiderseits frei über die Festkontakte (7) erstreckt.

7. Relais nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein mittiger Vorsprung (147) der Anker-Federzunge (141) einen beiderseits überstehenden Brückenkontakt (148) trägt und daß zwei Festkontakt-Federzungen (142, 143) je einen mit dem Brückenkontakt (148) zusammenwirkenden Festkontakt (144, 145) tragen.

8. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Trägerschicht (4) der Federzungen eine unter Zwischenfügung einer teilweise weggeätzten Opferschicht (3) auf dem Basissubstrat (1) abgeschiedene Schicht ist.

9. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Basissubstrat (1) und die Trägerschicht (4) aus Silizium bestehen und daß die beiden Elektrodensichten im Basissubstrat und in der Anker-Federzunge durch eigenleitendes oder dotiertes Silizium gebildet sind.

10. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Federzungen (41, 42) jeweils auf ihrer dem Basissubstrat abgewandten Seite zumindest über einen Teil ihrer Länge eine eine Zugspannung erzeugende Schicht (6; 61) aufweisen.

11. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die die Federzungen (41; 42) bildende Trägerschicht aus abgeschiedenem Polysilizium oder Polysilizium mit Rekristallisation besteht.

12. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die die Federzungen (41, 42) bildende Trägerschicht (4) aus einer galvanisch abgeschiedenen Metallschicht, insbesondere Nickel, Nickel-Eisen oder einer sonstigen Nickellegierung gebildet ist.

13. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Basissubstrat (1) aus Silizium

oder Glas besteht und daß die die Federzungen (41, 42) bildende Federschicht (4) durch eine auf das Basissubstrat gebondete und freigelegte Silizium-Schicht (21) eines Silizium-Wafers (20) gebildet ist.

14. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen elektrostatischen Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 13, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- auf einem mit einer elektrisch leitenden Schicht als Basiselektrode versehenen Basissubstrat (1) wird unter Zwischenfügung einer Isolierschicht (2) und eines Zwischenraums (31) eine elektrisch leitende Trägerschicht (4; 21) aufgebracht,
- in der Trägerschicht (4; 21) werden zwei einseitig angebundene, einander mit ihren freien Enden gegenüberstehende Federzungen (41, 42) ausgebildet,
- die Federzungen (41, 42) werden an ihrer Oberseite zumindest abschnittsweise mit einer Zugspannungsschicht (6; 61) versehen,
- eine - vorzugsweise kürzere - Federzunge (42) wird an ihrem freien Ende mit mindestens einem Festkontakt (7) versehen,
- die - vorzugsweise längere - Federzunge (41) wird mit mindestens einem beweglichen Kontakt (8) versehen, der unter Zwischenfügung einer Opferschicht (5) den Festkontakt (7) überlappt, und
- durch Freilegung der Federzungen (41, 42) voneinander und von dem Substrat (1) wird deren Krümmung vom Substrat weg nach oben erreicht.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei auf dem aus Silizium bestehenden Basissubstrat (1) unter Zwischenfügung einer ersten Opferschicht (3) die elektrisch leitende Federzungenschicht (4) aus Polysilizium oder Polysilizium mit Rekristallisation mit der Struktur der beiden Federzungen (41, 42) abgeschieden wird, wobei die Konturen der Federzungen und die Kontakte durch eine zweite Opferschicht (5) voneinander getrennt werden, und wobei nach dem Aufbringen der Kontakte die beiden Opferschichten (3, 5) herausgeätzt werden.

16. Verfahren nach Anspruch 14, wobei auf dem Basissubstrat (1) aus Glas, Keramik oder Silizium unter Zwischenfügung einer ersten Opferschicht (3) die Struktur der Federzungen (41, 42) aus Nickel oder einer Nickel-Legierung, insbesondere Nickel-Eisen, galvanisch abgeschieden wird, wobei auf einer der Federzungen (42) mindestens ein Festkontakt (7) und nach Aufbringen einer zweiten Opferschicht (5) auf der anderen Federzunge (41) ein dem Festkontakt (7) überlappender beweglicher Kontakt (8) aufgebracht wird und wobei schließlich nach dem Aufbringen der Kontakte die beiden Opferschichten (3, 5) herausgeätzt werden.

17. Verfahren nach Anspruch 14, wobei

- auf dem Basissubstrat (1) aus Silizium oder Glas die Gegenelektrode (11) und darüber eine Isolierschicht (2) abgeschieden werden,
- dann ein Silizium-Wafer (20) mit einer dotierten Silizium-Schicht (21), insbesondere einer Epitaxie-Schicht oder einer diffundierten Schicht, als Federzungenschicht auf das Basissubstrat (1) gebondet wird,
- danach der Wafer (20) rückgeätzt wird, bis nur die dotierte Silizium-Schicht (21) stehenbleibt, dann aus dieser Silizium-Schicht die Strukturen der beiden Federzungen (41, 42) herausgeätzt werden,
- dann auf der einen Federzunge (42) mindestens

ein Festkontakt aufgebracht wird,
 - dann unter Zwischenfügung einer Opferschicht (5) auf der anderen Federzunge (41) mindestens ein den Festkontakt (7) überlappender beweglicher Kontakt (8) aufgebracht wird und
 - schließlich die Opferschicht (5) herausgeätzt wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

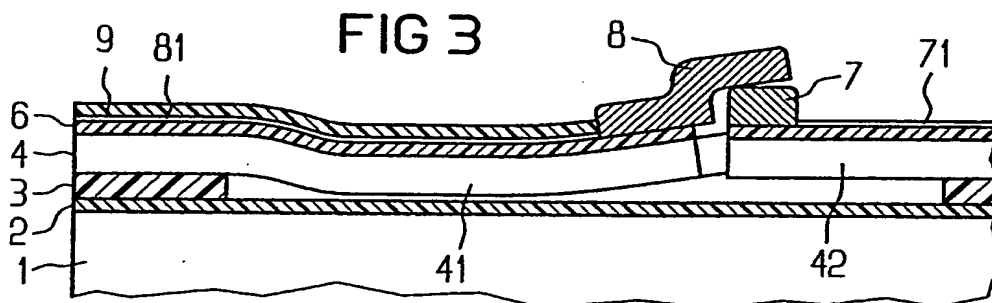
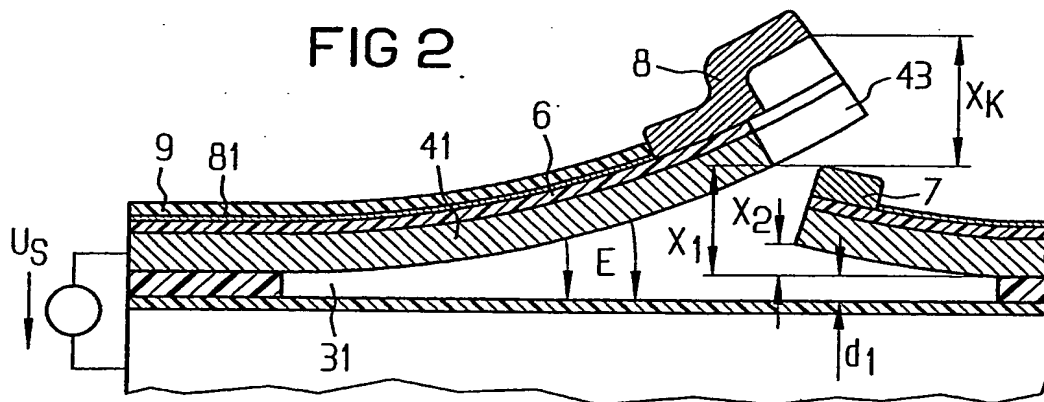
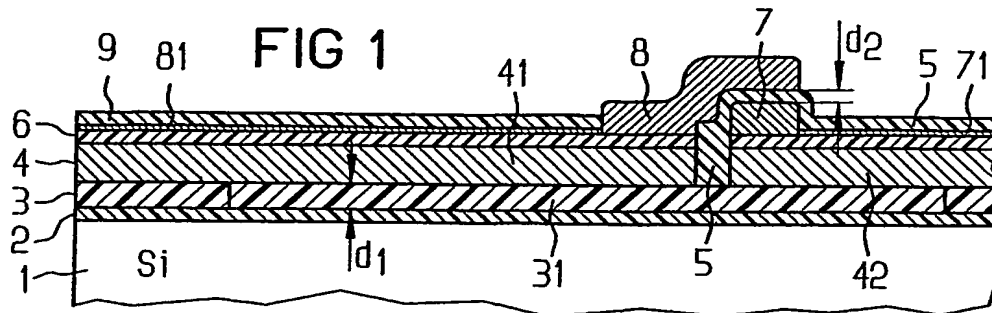


FIG 4

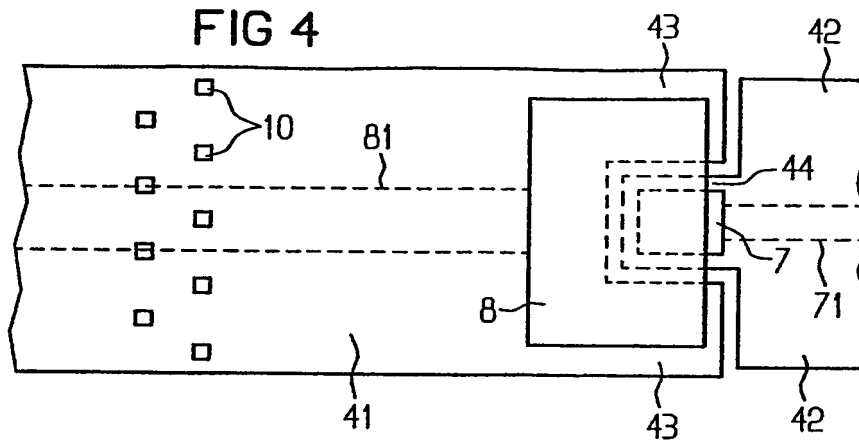


FIG 5

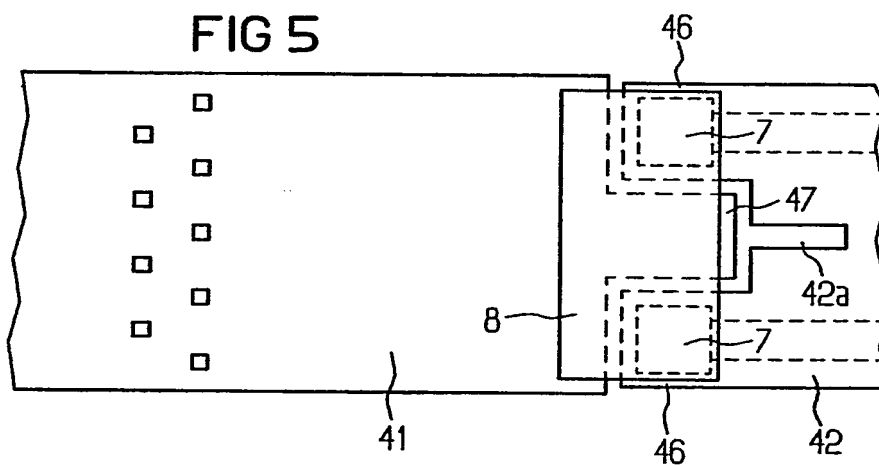
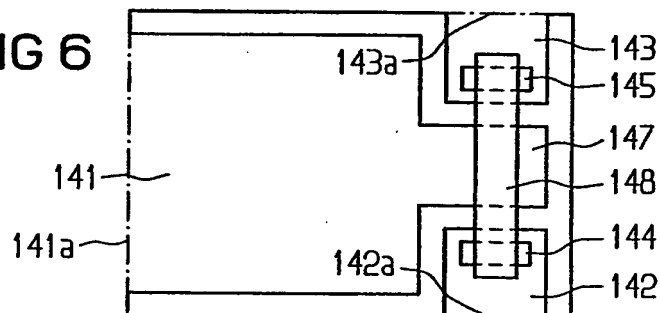


FIG 6



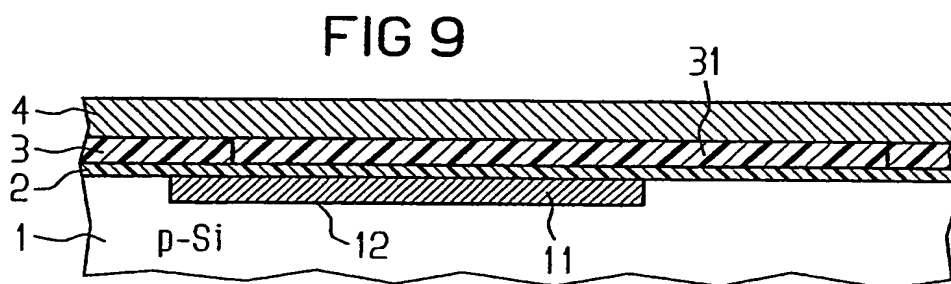
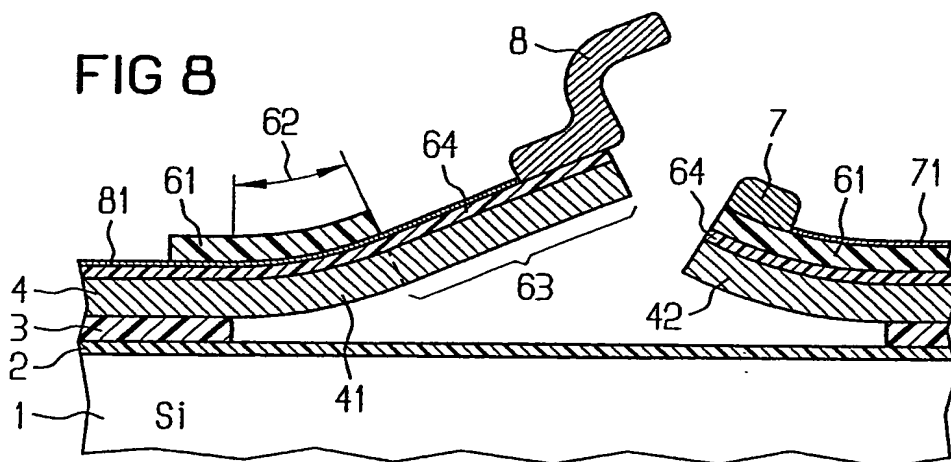
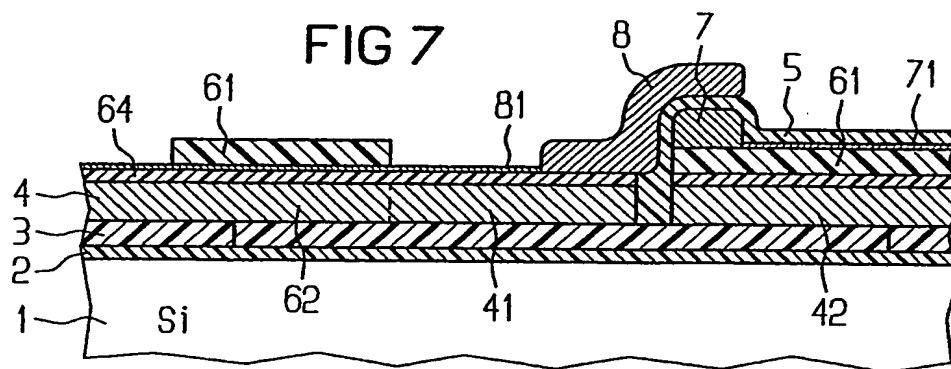


FIG 10

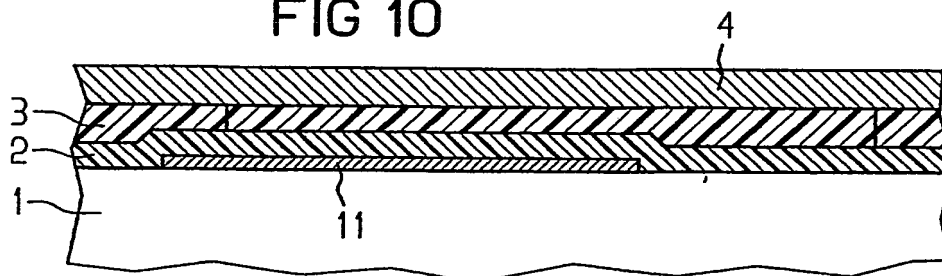


FIG 11

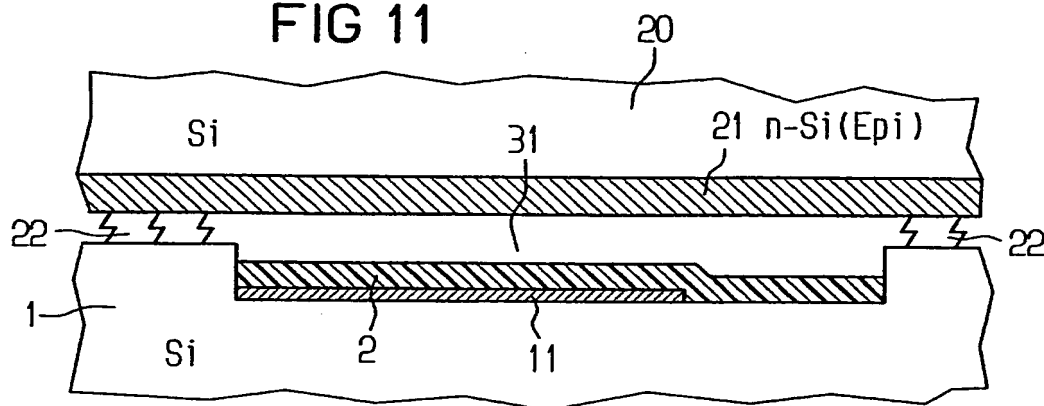


FIG 12

